

THERMOMETRIE

I.1. Thermométrie

La thermométrie est une branche de la physique qui a pour objet la mesure des températures.

I.2. Notion de température

La notion de température nous est fournie par les impressions de "froid" et de "chaud". Si un corps est plus chaud qu'un autre, sa température par définition, est plus élevée, La température est donc une grandeur physique qui caractérise l'état d'échauffement d'un corps.

I.3. Concept physique de température

La température traduit l'énergie d'agitation des molécules.

Augmenter la température d'un corps revient donc à augmenter l'agitation moléculaire. Si la vitesse V_i des molécules et donc leur énergie cinétique E_i augmentent, alors le degré d'agitation thermique du milieu est plus grand.

A la température 0 K (Zéro absolu à -273°C), les atomes et les molécules qui constituent la matière sont figées.

La température est une mesure indirecte du degré d'agitation microscopique des particules.

Exemple : Un gaz contenu dans une enceinte. A l'échelle microscopique, les molécules du gaz se déplacent dans l'enceinte de façon totalement aléatoire avec des vitesses V_i .

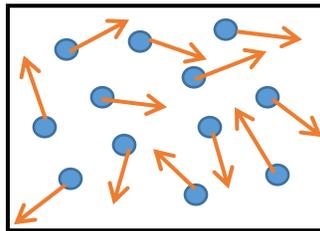


Figure 1. Gaz dans une enceinte

I.4. principe zéro de la thermodynamique

Considérons maintenant trois systèmes A, B et C dans les états d'équilibre E_A , E_B , et E_C .

-Séparons A et B par une cloison adiabatique et mettons les indépendamment en contact avec C par l'intermédiaire d'une cloison diatherme. Les trois systèmes évoluent vers de nouveaux états d'équilibre E'_A , E'_B , et E'_C .

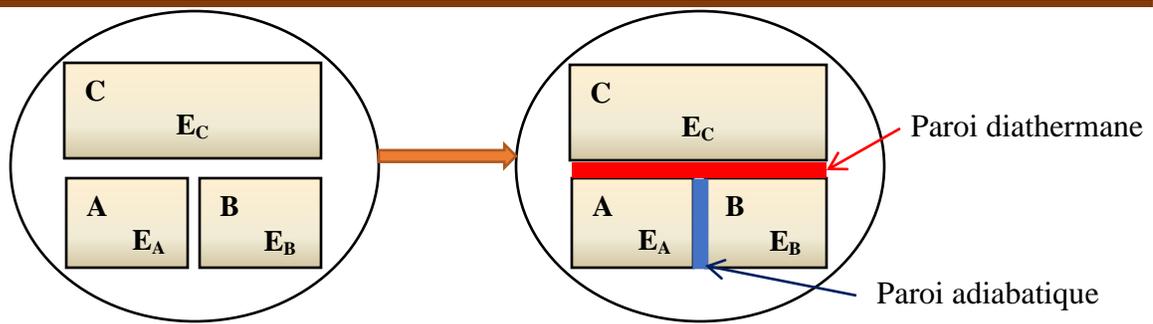


Figure 2. Equilibre thermodynamique

Le résultat précédent porte le nom de **principe zéro de la thermodynamique** :

Deux corps (système) en équilibre thermique avec un même troisième corps, Sont en équilibre thermique entre eux.

(**Thermodynamique** : science de tous les phénomènes qui dépendent de la température et de ses changements)

I.5. Thermomètre

Un thermomètre est un appareil destiné à mesurer et à afficher la valeur de la température notamment au moyen de la dilatation ou de la contraction d'une substance (généralement liquide ou gazeuse) dans un tube gradué. Pour cela, nous le mettons en équilibre avec les corps dont nous voulons connaître la température.

I.5.1. Phénomènes thermométriques

On détermine la température par l'intermédiaire d'un phénomène physique accompagnant les variations de température.

Exemples

- Dilatation d'un liquide : thermomètres à alcool, à mercure ;
- Dilatation des gaz à pression constante : thermomètres à gaz.
- Variation d'une résistance : thermomètre à résistance, thermistance ou CTN (coefficient thermique négatif) ;
- Émission d'un rayonnement : pyromètres optiques.

On appelle le coefficient thermométrique le coefficient α tel que :

$x = x_0 (1 + \alpha\theta)$, $R_\theta = R_0 (1 + \alpha\theta)$ ou x est la grandeur thermométrique (R_θ et R_0 résistances à θ et 0°C en ohm (Ω)). et θ la température.

I.5.2. Qualités d'un thermomètre

Ces notions sont valables pour tout instrument de mesure.

1) La sensibilité S.

De façon générale, $d\theta$ correspond à dG ; on appelle sensibilité du thermomètre, le rapport :

$$S = dG/d\theta$$

G: grandeur thermométrique : peut-être un volume ; longueur ; résistance électrique ; f.e.m. thermoélectrique ; pression ; rayonnement thermique ; etc.

- souvent on appelle aussi, à tort, "sensibilité du thermomètre", le plus petit accroissement de $d\theta$ mesurable. Il s'agit en fait de la "résolution" appelée aussi "limite de résolution" ou "mobilité" de la sonde.
- **Exemple.** : thermomètre usuels de "sensibilité" 1°C (thermomètre d'ambiance) et $0,1^\circ\text{C}$ (thermomètre médical).

2) La fidélité : un thermomètre fidèle fournit, pour une mesure précise, des indications concordant entre elles à une meilleure approximation.

- **Exemple** : plusieurs mesures d'une même température (à des moments différents) par un thermomètre fidèle, "sensible" au $1/10^\circ\text{C}$, donneraient : $19,5^\circ\text{C}$; $19,4^\circ\text{C}$; $19,5^\circ\text{C}$; $19,6^\circ\text{C}$; $19,4^\circ\text{C}$ etc... c'est-à-dire $19,5 \pm 0,1^\circ\text{C}$.

3) La précision : un thermomètre est d'autant plus précis qu'il indique *la bonne température avec l'erreur relative la plus faible*.

1.6. Echelle de température

Pour fixer une échelle de température sur un thermomètre, on choisit deux températures que l'on peut obtenir facilement (la température d'ébullition et de congélation de l'eau). Ces deux températures constituent les points fixes supérieur et inférieur. L'intervalle entre ces deux points fixes est divisé en un nombre de parties égales appelé **degré**.

Les températures sont seulement repérées par une échelle (0 tout à fait conventionnel)

1.6.1 Echelles centésimales

Le degré thermométrique est la centième partie de la distance entre le terme de la glace fondante et celui de l'eau bouillante sous la pression atmosphérique normale.

a. Echelle centigrade ou Celsius

(Inventée par le physicien suédois Anders Celsius en 1742)

L'échelle Celsius satisfait aux trois conditions suivantes :

- La température de la glace fondante est fixée à 0°C sous la pression atmosphérique ambiante;
- La température d'ébullition de l'eau à pression atmosphérique est fixée à 100°C ;
- Il y a 100 divisions égales entre le point 0 et le point 100.

$$(t) = \text{°C (degré Celsius ou centigrade)}$$

b. Echelle Fahrenheit. $[\theta_{\text{°F}}] = \text{°F (degré fahrenheit)}$

L'échelle Fahrenheit est une échelle de température qui a été proposée par le physicien et ingénieur et physicien allemand Daniel Gabriel Fahrenheit en 1724.

Utilisée dans les pays anglo-saxons.

Sur l'échelle **Fahrenheit**, La température de la glace fondante correspond à 32°F et le point d'ébullition de l'eau correspond à 212°F.

$$[\theta_{\text{°F}}] = \frac{9}{5} t(\text{°C}) + 32 = 1.8t(\text{°C}) + 32$$

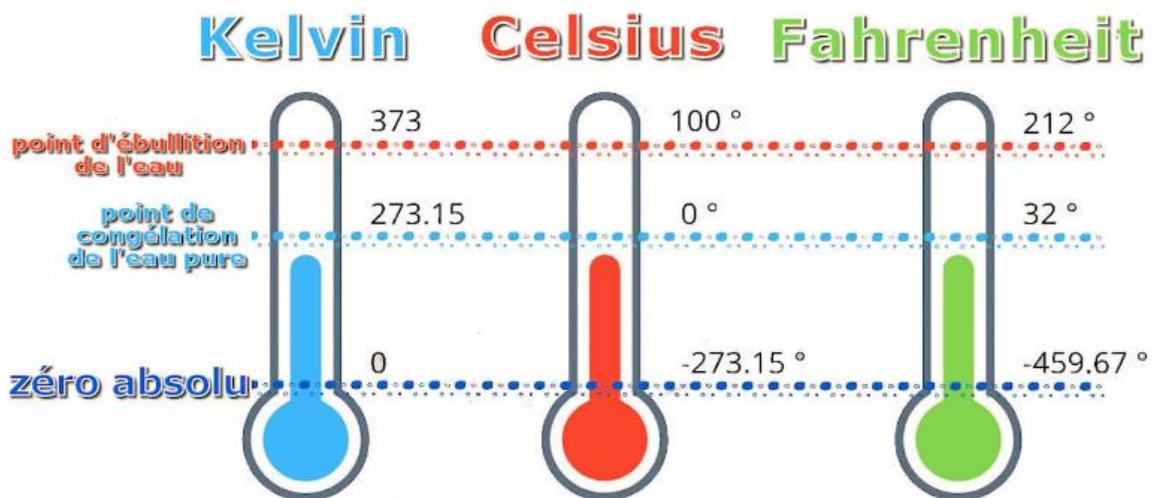


Figure 3. Trois échelles de température (Kelvin, Celsius et Fahrenheit) avec le zéro absolu qui est la température la plus basse possible correspond à -273,15°C (inatteignable et infranchissable)

1.6.2 Echelles absolues

a. Echelles kelvin (T)

Cette échelle considère que la limite inférieure d'agitation des molécules se situe à -273,15°C soit 0 K. On note les températures dans l'échelle **Kelvin K**, on utilise le symbole T.

On a la relation suivante:

$$T (\text{Kelvin}) = t (\text{°C}) + 273.15$$

Exemple

Point de fusion de la glace 273,15°K ou 0°C

Point d'ébullition de l'eau 373,15°K ou 100°C

b. Echelle Rankine

L'échelle de température de Rankine est une échelle de mesure des températures proposée en 1859 par l'ingénieur et physicien écossais William John Macquorn Rankine.

Le point de référence de l'échelle Rankine est le zéro absolu à 0 °R, comme sur l'échelle Kelvin.

Le point de congélation de l'eau est égal à 491,67 °Ra.

Le point d'ébullition de l'eau est égal à 671.67 °Ra

$$T^{\circ}\text{Ra} = T^{\circ}\text{F} + 459.67$$

1.7 Relation thermométriques dans l'échelle centésimale

Consiste à exprimer la température centésimale (t) en fonction de la grandeur thermométrique (x).

Par commodité, on a adopté une loi linéaire comme relation entre la température (t) et la grandeur thermométrique (x)

$$t = a x + b$$

$t = 0$ (thermomètre plongé dans la glace fondante à $p = 1$ atm)

$t = 100$ (thermomètre plongé dans l'eau bouillante à $p = 1$ atm)

On peut écrire

$$\text{Pour } t=0, \quad ax_0 + b = 0 \quad (1)$$

$$\text{Pour } t=100, \quad ax_{100} + b = 100 \quad (2)$$

$$(2)-(1) \text{ donne : } 100-0 = a(x_{100}-x_0) \quad \text{ou} \quad a = \frac{100}{x_{100}-x_0}$$

$$b = -ax_0 = -\frac{100 x_0}{x_{100} - x_0}$$

$$\text{On a alors} \quad t(x) = 100 \frac{x-x_0}{x_{100}-x_0}$$

Remarque : Dans certains ouvrages la grandeur thermométrique peut être notée par le symbole θ